LES PINS BRUTIA ET ELDARICA EN FRANCE

Eléments sur l'autécologie et la génétique Perspectives d'utilisation

par Daniel NOUALS et Michel BARITEAU***



Photo 1 : *Pinus brutia* âgés de 38 ans à Cadarache (13)
Photo D. Nouals

Cela fait maintenant une quarantaine d'années que les premiers pins *brutia* ont été utilisés en reboisement dans la zone méditerranéenne française, alors que l'introduction des pins *eldarica* est plus récente. La confusion est souvent faite avec le pin d'Alep. Les caractéristiques tant autécologiques [1] que génétiques sont pourtant bien distinctes.

Des publications récentes du CEMAGREF et de l'I.N.R.A. apportent des éléments scientifiques nouveaux, dont les principaux enseignements en matière de reboisement sont réunis dans cet article.

Dans le cadre du programme de recherche sur l'autécologie des essences méditerranéennes, le CEMAGREF (Aix en Provence) a entrepris, malgré leur jeune âge, l'étude des boisements français de ces essences. Selon une méthode déjà plusieurs fois utilisée pour d'autres espèces, des relevés ont été réalisés dans la plupart de ces boisements, afin de mettre en évidence par différents traitements statistiques, les **relations entre le milieu et la croissance** des pins *brutia* et *eldarica*.

Par ailleurs, une expérience internationale de comparaison des provenances de *Pinus halepensis* et *Pinus brutia-eldarica* a été initiée en 1975 par la F.A.O. Deux plantations comparatives françaises, installées et suivies par l'I.N.R.A (Avignon), ont fourni des résultats sur la **variabilité génétique** de ces espèces dans la région méditerranéenne française. Quatre caractères ont été étudiés : les dégâts de chenille processionnaire (*Thaumetopea pithyocampa*), la croissance en hauteur, la résistance au froid et à la sécheresse.

* CEMAGREF Le Tholonet, B.P. 31,
13612 Aix-en-Provence Cedex 1
** I.N.R.A. Avenue Vivaldi - 84000 Avignon

1 - N.d.e. **Autécologie** : étude des conditions de croissance d'une essence sur un milieu donné.

I - Introduction

Les pins de la section halepensis peuvent être scindés en deux espèces: *Pinus halepensis* Miller et *Pinus brutia* Tenore (Nahal, 1962). La première se répartit sur le pourtour occidental de la Méditerranée, la seconde étant strictement orientale. *Pinus eldarica*, parfois décrite en tant qu'espèce, est en fait une des formes géographiques de *Pinus brutia* (Debazac, 1964).

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) occupe sur le pourtour méditerranéen plus de 3,5 millions d'hectares d'après Quézel (1980). Sa caractéristique écologique principale est une adaptation parfaite au climat méditerranéen, en particulier au stress hydrique estival, mais aussi une réponse de type "expansionniste" face à un milieu fortement perturbé, notamment par les incendies (Barbero & Quézel, 1990).

Le pin brutia sensu stricto (*Pinus brutia* Ten. subsp *brutia* Nah), occupe une surface d'environ 4 millions d'hectares, de la Grèce au Liban (Quézel, 1980), dans des conditions climatiques et édaphiques très diversifiées.
Le pin eldarica (*Pinus brutia* Ten. subsp *eldarica* Nah) provient d'une aire relique extrêmement réduite dans une région semi désertique du Caucase. Il a été introduit artificiellement en Iran et en Afghanistan, où il s'est parfaitement acclimaté.

On trouve le pin brutia du niveau de la mer jusqu'à 1400 m d'altitude, dans des zones dont la pluviométrie varie entre 350 et 1300 mm, associé aussi bien à des groupes de végétation thermophiles de basse altitude, qu'en montagne en mélange avec le pin noir (*Pinus nigra*), le cèdre du Liban (*Cedrus libani*), et le sapin de Cilicie (*Abies cilicica*).
Les substrats sont aussi variés tant physiquement que chimiquement puisqu'il est présent sur sables littoraux, calcaires durs ou marneux, marnes, roches cristallines ou éruptives. Ces deux dernières sont les plus favorables; à l'opposé, le calcaire dur donne des peuplements faiblement productifs. Sur marnes et calcaires marneux, la production est moyenne et s'élève jusqu'à des valeurs intéressantes dans l'étage supraméditerranéen.
Il est logique que de cette aire immense et variée, soit issue une grande variabilité génétique, induisant des différences tant sur la forme des arbres que sur leur réponse aux différents facteurs du milieu. Signalons que les peuplements les plus remarquables de pin brutia, tant par la forme des arbres que par leur production, sont situés dans l'étage supraméditerranéen (qui correspond en France à l'étage du Chêne pubescent, approximativement à plus de 500 m d'altitude). Les beaux peuplements, dans cette situation, ont été jugés comparables à ceux de pin laricio (Arbez, 1974).
En ce qui concerne le pin eldarica, le climat dans l'aire d'origine est très sensiblement différent des conditions rencontrées en France méditerranéenne, puisqu'il est de type semi-désertique, plutôt continental, avec des extrêmes de froid et de sécheresse bien plus accusés. Le pin eldarica serait donc a priori, apte à supporter facilement les extrêmes climatiques.



Photo 2 : *Pinus halepensis*, insertion des cônes.
Photo J. Laurent



Photo 3 : *Pinus brutia* ssp *eldarica*, insertion des cônes.
Photo C. Nouals

Le forestier doit donc tenir compte de la forte variabilité géographique des pins *brutia-eldarica* avant d'étendre leur utilisation en reboisement :
*** zone d'introduction ?**
*** choix des provenances ?**

II - Autécologie : les boisements français de pin brutia et eldarica.

II.1. Sites étudiés et matériel végétal

Environ 200 relevés ont été réalisés en deux temps. 160 relevés de 1986 à 1989, qui ont servi à l'étude proprement dite et d'où sont issus les résultats présentés plus loin, plus une quarantaine en juillet 1991, aux fins de vérification de ces résultats et évaluation de leur fiabilité.

II.1.1 - Situation des boisements : une zone d'introduction réduite par rapport à la variabilité de l'aire naturelle (voir carte p. 202)

Les régions où ces deux sous-espèces ont été le plus utilisées sont d'une part le département des Bouches-du-Rhône (notamment les Alpilles et la Chaîne des Côtes), d'autre part la frange côtière des départements de Languedoc-Roussillon, lors des grands travaux d'aménagement du littoral.

A quelques rares exceptions près, les boisements sont situés dans la partie la plus chaude et sèche de l'aire du pin d'Alep (étages thermo-méditerranéen et méso-méditerranéen inférieur. Température moyenne annuelle 12 à 15 °C, pluviométrie totale annuelle 450 à 800 mm, pluviométrie estivale de 50 à 130 mm).



Photo 4 : Boisement paysager de *Pinus eldarica* à Fitou (Pyrénées Orientales)
Photo D. Nouals

Cela est d'autant plus vrai pour le pin *eldarica* qui a été cantonné à moins de 20 km du littoral dans la plupart des cas.

Pour ce qui concerne la roche, 95 % des relevés sont sur roches calcaires, et 40 % sur calcaires durs.

On voit donc que :

- **les introductions en France, de pin *brutia* notamment, ont été faites dans la partie qui correspond à des conditions qui sont parmi les plus défavorables pour cette essence dans son aire naturelle, tant du point de vue du climat que du substrat.**
- Le pin *brutia* n'a pratiquement jamais été utilisé dans les zones à climat méditerranéen atténué, pourtant plus proches des conditions optimales de l'aire naturelle.

Signalons enfin un caractère indépendant de l'essence étudiée : au même âge et pour des peuplements de fertilité comparables, les boisements réalisés dans le cadre de l'aménagement du littoral du Languedoc sont bien fermés et leur embroussaillement est très faible (il suffirait d'un élagage pour les rendre très difficilement combustibles).

En Provence, par contre, l'embroussaillement est encore intense, ou bien nécessite des interventions fréquentes. Cette différence est due aux techniques de plantation : en Provence, on a planté à large espacement entre les lignes, alors qu'en Languedoc, les lignes sont beaucoup plus rapprochées et les densités supérieures. La différence de sensibilité au feu est visible à l'oeil nu au bout de 20 ans.

Toutefois, un équilibre est à trouver car il a été démontré en Turquie (Özdemir et al., 1987) un effet dépressif des trop fortes densités sur la croissance des jeunes peuplements.

II.1.2. - Le matériel végétal : une méconnaissance générale des provenances utilisées

Pour ce qui concerne les provenances, le mystère est total, puisque le seul renseignement disponible est le pays d'origine des graines (Turquie le plus souvent). Or, on a vu la variabilité génétique que recouvrait la sous-espèce pin *brutia*. Donc, une fois séparées les sous-espèces *brutia* et *eldarica*, deux questions restent sans réponse :

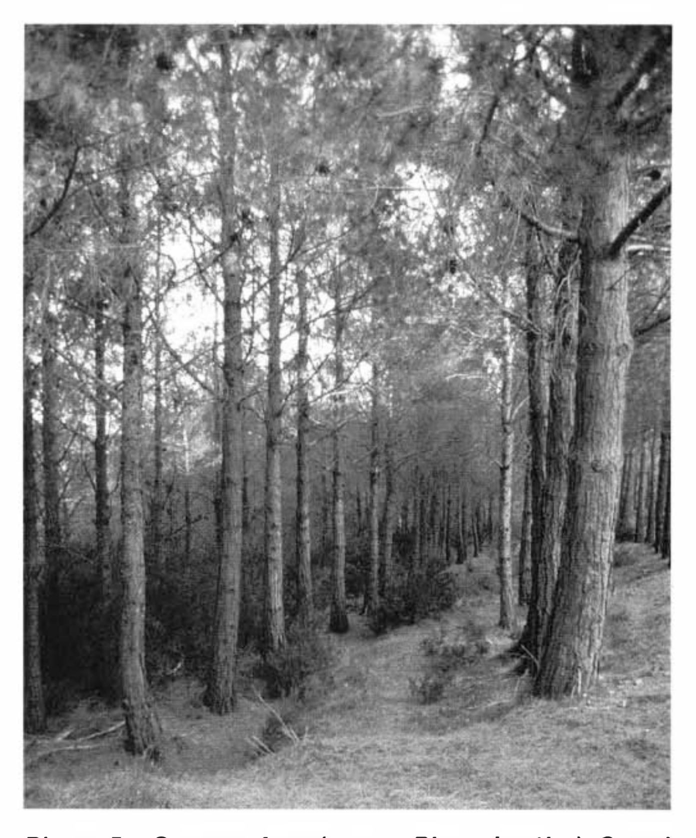


Photo 5 : Couvert fermé sous *Pinus brutia* à Opoul (Pyrénées Orientales) Photo D. Nouals

-Quelle gamme de provenances diverses recouvrent les boisements français de pin *brutia*?

-Dans quelle proportion le matériel génétique était-il adapté aux conditions du milieu ?

Dans ces conditions, nous ne sommes actuellement pas certains que l'aspect des peuplements visités reflète les réelles potentialités du milieu pour cette essence.

Il est difficile, par exemple, d'estimer la part de la station et de la génétique dans la forme des arbres.

Les pins *eldarica*, plantés souvent dans des conditions assez difficiles, ont rarement des formes vraiment satisfaisantes.

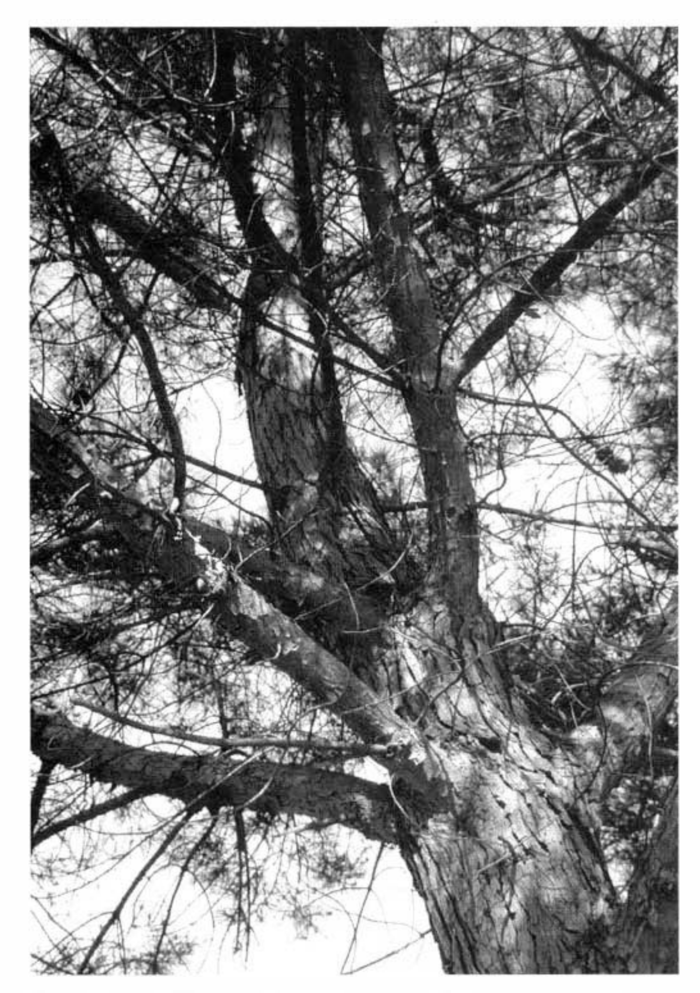
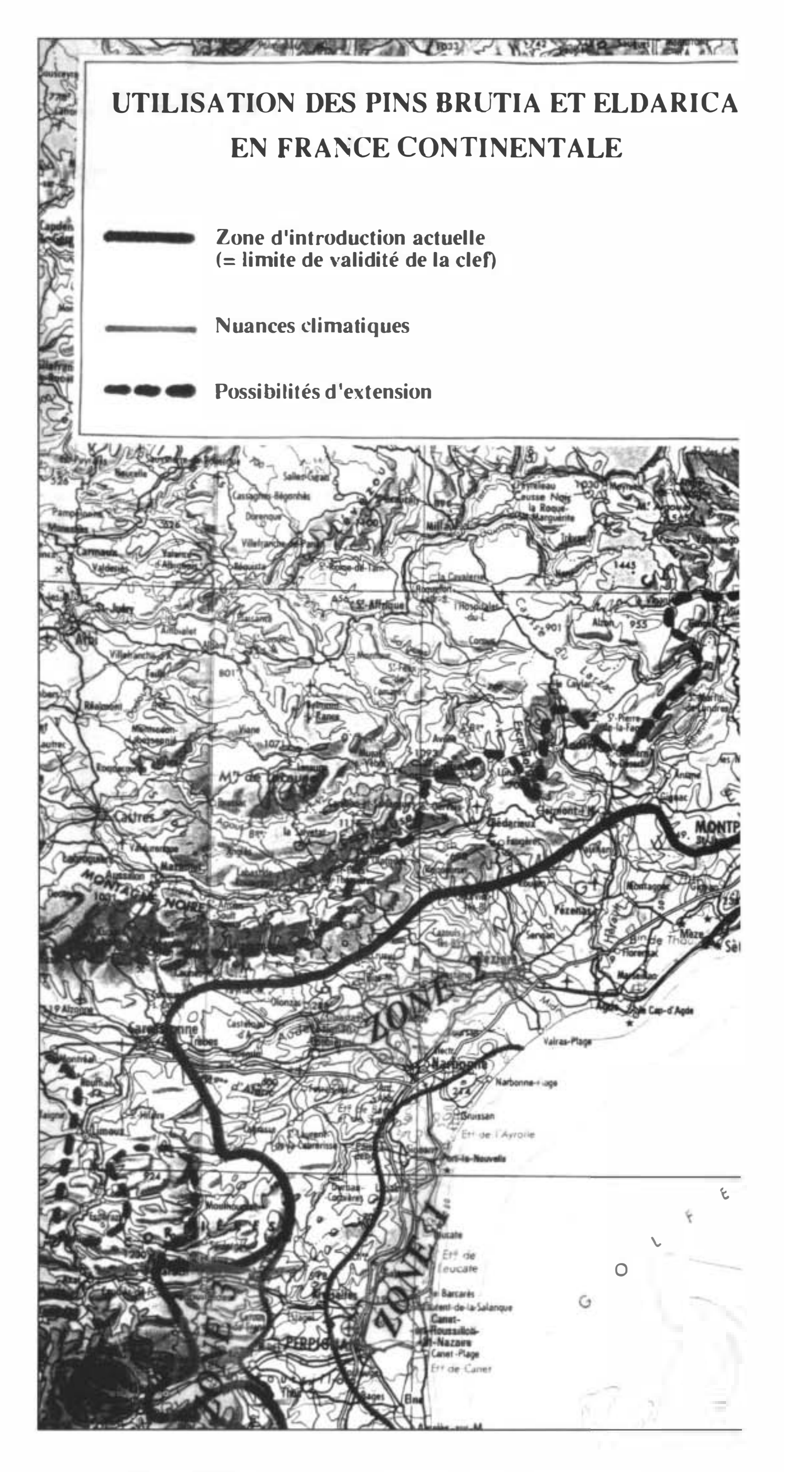


Photo 6 : *Pinus brutia* de très mauvaise forme au Tholonet (Bouches-du-Rhône) Photo C. Nouals



Photo 7 : Peuplement de forme satisfaisante à Cadarache (Bouches-du-Rhône) Photo D. Nouals

Ils sont en général bien droits, mais assez coniques et branchus. Les troncs sont très peu déformés par le vent.
Cette essence semble très attaquée par la chenille processionnaire.
La forme des pins *brutia* est, elle, très corrélée à la qualité de la station. Plus celle-ci est mauvaise, et plus les arbres sont coniques, branchus et tordus.
Sur les stations lui convenant, les pins *brutia* sont par contre très droits (si la station n'est pas trop ventée), mais la conicité et la branchaison sont variables, et semblent très dépendants de la génétique.



II.2 - Modèle de croissance en hauteur

A l'aide d'analyses de la croissance en hauteur de certaines tiges, on a établi un modèle de croissance qui permet, lorsqu'on connaît l'âge et la hauteur dominante d'un peuplement de :

- déterminer dans quelle classe de fertilité il se situe,
- estimer la hauteur qu'il atteindra quelques années plus tard.

La validité du modèle ne va pas au delà de 30 ans car très peu de peuplements dépassaient cet âge lors de sa construction.
C'est la hauteur estimée des peuplements à 30 ans qui a servi d'indice de fertilité pour comparer les relevés entre eux.
Signalons la grande amplitude des hauteurs possibles à 30



ans, puisque les valeurs s'étagent de 2,5 m à 16 m, et même jusqu'à 18 et 19 m pour deux cas exceptionnels. On peut donner, à titre de comparaison, l'amplitude des hauteurs atteintes par d'autres pins au même âge :

pin Pignon : 2 - 15 m (Labadie, 1983)
pin noir : 4 - 13 m (Ottorini et al., 1983)
pin d'Alep : 6 - 16 m (Abbas, 1984)
pin laricio : 6 - 17 m (Commerçon, 1984)
(Cf. Fig.1 page suivante)

II.3 - Les relations entre milieu et croissance

Deux éléments principaux ont été source d'imprécision pour analyser les interactions milieu-croissance.

1/ La jeunesse des peuplements étudiés (dans la fourchette des âges rencontrés, les techniques de reboisement, et le matériel végétal influent encore sur la croissance)

2/ L'hétérogénéité supposée du matériel génétique utilisé dans les peuplements étudiés.

Malgré ces deux éléments, et du fait du grand étagement des croissances en hauteur, on a pu, dans un premier temps, mettre en évidence les facteurs du milieu les mieux corrélés à la bonne ou mauvaise croissance des pins *brutia* et *eldarica*.

Puis, par une étude de la flore présente sous ces peuplements, on a bâti des groupes socio-écologiques que l'on a mis ensuite en relation avec la fertilité.

La flore s'est avérée être, dans de nombreux cas, un très bon évaluateur de la fertilité.

Enfin, on a étudié ensemble tous les critères écologiques et floristiques, afin de construire des unités écologiques, c'est à dire des relevés présentant des caractères communs entre eux, et on a évalué ensuite les fertilités de ces unités.
Voici les principaux résultats :

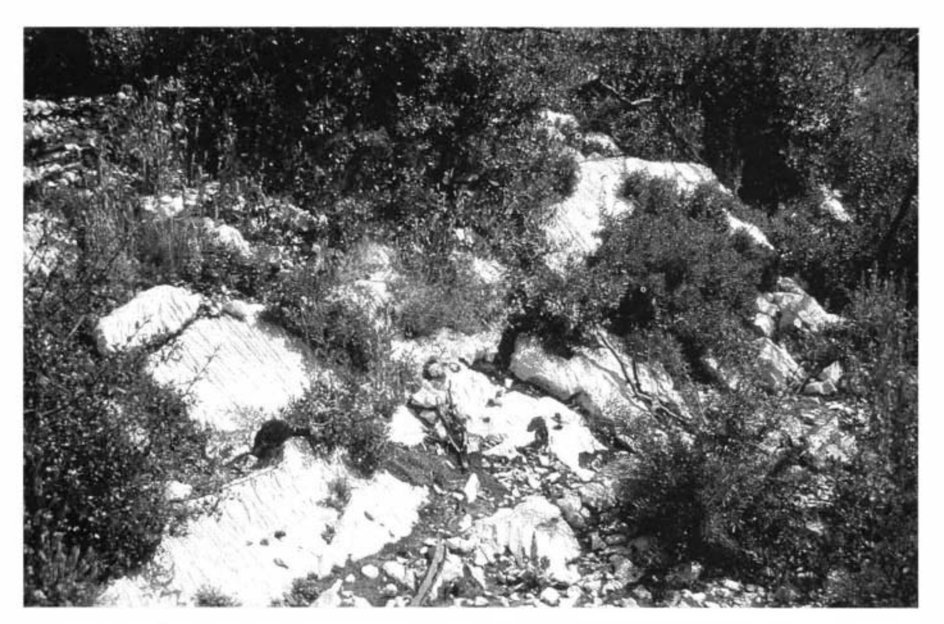
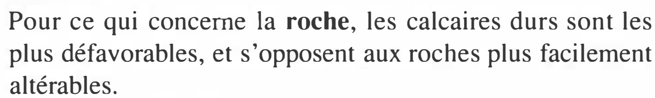


Photo 8 : Affleurements de calcaire dur Photo J. Ladier

II. 3. 1 - Action des facteurs du milieu considérés isolément

Le tableau I (page ci-contre) synthétise ces informations.
Dans la zone étudiée, qui ne présente pas de variations climatiques très importantes, **les facteurs du milieu qui ont le plus d'influence sur la croissance sont relatifs à la nature et à l'épaisseur prospectable du substrat.**



Pour ce qui concerne la **roche**, les calcaires durs sont les plus défavorables, et s'opposent aux roches plus facilement altérables.
La présence d'**affleurement rocheux** est bien sûr un très mauvais indice.
Les formations superficielles résultant d'accumulations de matériaux (alluvions, restanques, colluvions) sont plus favorables que les sols issus de l'altération en place de la roche. Enfin, les boisements installés sur d'anciennes terres de cultures ont de meilleures croissances.
En second lieu viennent d'autres facteurs relatifs au bilan hydrique, en particulier la **position topographique** et le **pourcentage de cailloux en affleurement et dans le sol**.
Enfin, les expositions sud, et les faibles valeurs du test tarière sont bien corrélées aux mauvaises fertilités.

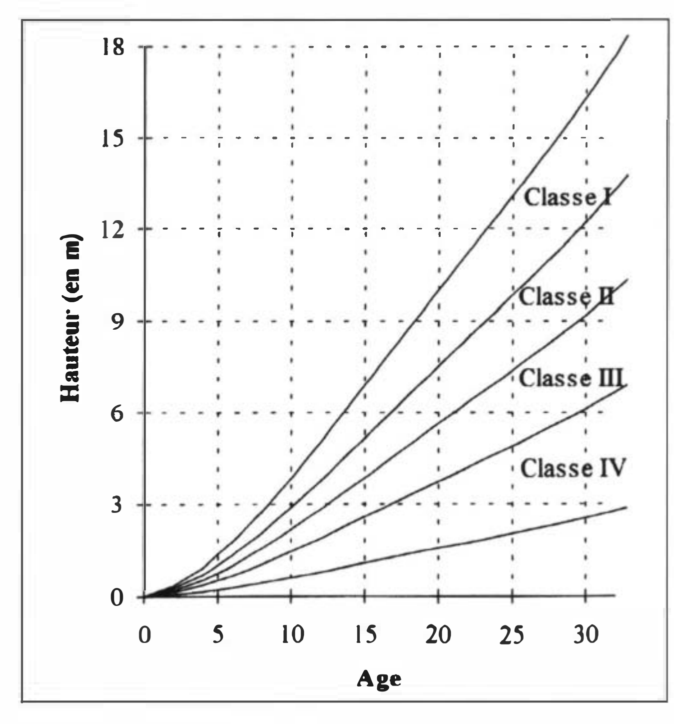


Fig.1 : Classes de croissance



Photo 9 : Colluvion calcaire Photo B. Boisseau

II. 3. 2 - Relations entre flore et fertilité : les groupes floristiques

Les données floristiques (qui ne comportent que des plantes reconnaissables en toutes saisons), ont été traitées selon des méthodes classiques en Typologie des stations, et ont abouti à la construction de 11 groupes floristiques, présentés dans le tableau II page 206.
Les groupes V, VI et VII sont présents sur presque tous les relevés : ils comportent les plantes de garrigue les plus communes, et c'est dans cet environnement indiquant une **végétation fortement dégradée** que se trouvent les plantations de pins *brutia* et *eldarica*.

Facteurs	Très favorable	Favorable	Peu influent	Défavorable
Roche mère	Alluvions	Conglomérats tendres Calcaire tendre Calc. en plaquettes Calc. dolomitique Schistes	Calcaires marneux Grès calcaire	Calcaire dur
Affleurement de la roche mère	Moins de 10 %			Plus de 10 %
Formation superficielle	Alluvions	Restanques Colluvions	Altération	
Antécédents culturaux	Terre de culture ou lande		Garrigues ou maquis	
Position Topographique	Thalweg Vallon	Plaine	Bas de versant Mi-versant plateau	Haut de versant Sommet - Croupe
Exposition du Versant ou de la station	Toutes exposition (terrain plat)		Nord, Est, Ouest	Sud
Affleurement de cailloux	Moins de 30 %		30 à 60 %	Plus de 60 %
Cailloux dans le sol	Moins de 10 %		10 à 60 %	plus de 60 %
Test tarière	> 20 cm			< 20 cm
Distance au littoral	Plus de 5 km			Moins de 5 km
Pente	Moins de 10 %		de 10 à 20 %	Plus de 20 %
Travail du sol	Labour total Banquettes soussolées			

Remarques :
. Les différentes modalités des facteurs ont été réparties dans les colonnes favorables et défavorables lorsque leurs moyennes de fertilités étaient significativement différentes.
. La colonne très favorable comprend les modalités dont la moyenne est de l'ordre d'au moins 12 m à 30 ans, et est significativement différente de tous les autres cas.

Facteurs les plus significatifs (gris foncé)

Facteurs très hautement significatifs (gris clair)

Facteurs hautement significatifs (blanc)

Tab. I : Action des facteurs du milieu considérés isolément sur la croissance des pins brutia et eldarica

Cependant, la plus ou moins grande représentation de chacun de ces groupes dans la composition floristique totale exprime des phases plus ou moins fortes de dégradation. De même, cette représentation peut être corrélée à la hauteur dominante des peuplements : lorsque moins de 4 plantes du groupe V sont présentes, la fertilité est très bonne. De même, plus de 3 plantes du groupe VII indiquent des fertilités moyennes à bonnes.
En outre, l'apparition de certains groupes un peu moins fréquents est très significative. Ces groupes sont liés aux bonnes ou mauvaises croissances.
La présence des groupes III, liée aux hauts reliefs calcaires côtiers, **et du groupe IV**, présent sur milieux très ouverts, à végétation basse, **indique généralement les mauvaises fertilités**.
A l'inverse, **le groupe X**, regroupe les espèces de la chênaie pubescente, **et signifie donc soit une nuance climatique plus favorable, soit une compensation du climat par un meilleur sol**. Plus sa représentation est forte, plus la fertilité est bonne.
Enfin, **le groupe XI est toujours indicateur d'une bonne réserve en eau du sol**. Lorsqu'au moins deux plantes de ce groupe sont présentes, les peuplements sont en 1ère classe de fertilité.

II. 3. 3 - Les unités écologiques bâties sur les groupes floristiques

L'efficacité de la flore comme indicateur de bonne ou mauvaise fertilité nous a amenés à étudier la composition floristique des relevés (c'est à dire les diverses combinaisons des groupes écologiques entre eux), puis à la relier, autant que possible, aux critères écologiques.
Cette étude globale a abouti à la définition "d'unités écologiques". Il ne s'agit pas de stations forestières, au sens usuel de ce terme puisque ces unités sont beaucoup plus grossières, mais elles s'en rapprochent par leur construction.
Ensuite, à l'intérieur de chaque unité, il est possible d'évaluer la fertilité de la station en se basant

1 -sur la moyenne des fertilités de l'unité écologique,

2 -sur l'amplitude ou "fourchette" des fertilités qu'elle contient,

3 -sur les critères écologiques complémentaires permettant de situer la parcelle étudiée en haut, au centre ou en bas de la fourchette des fertilités

C'est cette démarche que nous proposons à l'utilisateur pour évaluer les potentialités d'un terrain pour le pin *brutia* ou *eldarica*.

Groupe I

Pistachier lentisque
(*Pistacia lentiscus*)
Carline en corymbe
(*Carlina corymbosa*)
Rue puante
(*Ruta graveolens*)
Olivier
(*Olea europaea*)
Fenouil sauvage
(*Foeniculum vulgare*)

Groupe II

Bruyère arborescente (1)
(*Erica arborea*)
Lavande stoechade (1)
(*Lavandula stoechas*)
Calycotome épineux (1)
(*Calycotome spinosa*)
Ciste de Montpellier
(*Cistus monspeliensis*)
Daphnée garou
(*Daphne gnydium*)
Arbousier
(*Arbutus unedo*)

Groupe III

Globulaire arbustive
(*Gobularia alypum*)
Valériane rouge
(*Centranthus ruber*)
Bruyère multiflore
(*Erica multiflora*)
Coronille à feuille de jonc
(*Coronilla juncea*)
Santoline petit cyprès
(*Santolina chamaecyparissus*)

Groupe IV

Fumana de spach
(*Fumana coridifolia)*
Ononis nain
(*Ononis minutissima*)
Sumac des corroyeurs
(*Rhus coriaria*)
Coris de Montpellier
(*Coris monspeliensis*)
Laser de France
(*Laserpitium gallicum*)
Fumana à feuille de thym
(*Fumana thymifolia*)
Iris nain
(*Iris chameiris*)
Cytise argenté
(*Argyrolobium linnaenum*)
Pistachier Térébinthe
(*Pistacia terebinthus*)

Groupe V

Chêne kermès
(*Quercus coccifera*)
Brachypode rameux
(*Brachypodium ramosum*)
Romarin
(*Rosmarinus officinalis*)
Thym
(*Thymus vulgaris*)
Germandrée petit chêne
(*Teucrium chamaedrys*)
Stéhéline douteuse
(*Staehelina dubia*)
Ciste blanc
(*Cistus albidus*)
Chèvrefeuille des Baléares
(*Lonicera implexa*)
Aphyllante de Montpellier
(*Aphyllantes monspeliensis*)
Ajonc épineux
(*Ulex parviflorus*)
Immortelle
(*Helychrysum stoechas*)
Sedum (4)
(*Sedum sp.*)
Filaria à larges feuilles
(*Filaria latifolia*)
Ciste à feuilles de sauge
(*Cistus salviaefolius*)
Buplèvre ligneux
(*Bupleurum fruticosum*)

Groupe VI

Pin d'Alep
(*Pinus halepensis*)
Genévrier cade
(*Juniperus oxycedrus*)
Filaria à feuilles étroites
(*Filaria angustifolia*)
Euphorbia à fleurs pourpres
(*Euphorbia characias*)
Nerprun alaterne
(*Rhamnus alaternus*)
Salsepareille rude
(*Smilax aspera*)
Genêt scorpion
(*Genista scorpius*)
Spartier à tiges de jonc
(*Spartium junceum*)

Groupe VII

Garance voyageuse
(*Rubia peregrina*)
Asperge sauvage
(*Asparagus acutifolius*)
Chêne vert
(*Quercus ilex*)
Dorycnium sous-arbrisseau
(*Dorycnium suffruticosum*)
Clematite petite flamme
(*Clematis flamula*)
Lavande à larges feuilles
(*Lavandula latifolia*)

Groupe VIII

Germandrée tomenteuse
(*Teucrium polium*)
Hélianthème
(*Helianthemum sp.*)
Leuzée à cône
(Leuzea conifera)
Buis
(*Buxus sempervirens*)
Amelanchier
(*Amelanchier rotundifolia*)
Cormier
(*Sorbus domestica*)
Violette (6)
(*Viola sp.*)

Groupe IX

Genêt poilu
(Genista pilosa)
Genêt piquant
(*Genista hispanica)*
Sanguisorbe
(*Sanguisorba minor)*
Panicaut champêtre
(*Eryngium campestre*)
Brachypode de Phénicie
(*Brachypodium phoenicoïdes*)
Chardon bleu
(*Echinop ritro*)
Bonjeanie hérissée
(*Bonjeania hirsuta*)
Petite coronille
(*Coronilla minima*)
Cytise à feuilles sessiles
(*Cytisus sessiliflorus*)
Astragale de Montpellier
(*Astragalus monspessulanus*)

Groupe X

Chêne pubescent
(*Quercus lanuginosa*)
Chèvrefeuille d'étrurie
(*Lonicera etrusca*)
Aubépine monogyne
(*Crataegus monogyna*)
Coronille arbrisseau
(*Coronilla emerus*)
Erable de Montpellier
(*Acer monspessulanus*)
Herbe à bitume
(*Psoralea bituminosa*)
Ronce (2)(7)
(*Rubus sp.*)
Eglantier (2)
(*Rosa gr. canina.*)

Groupe XI

Viorne tin (3)
(*Viburnum tinus*)
Lierre grimpant (3)
(*Hedera helix*)
Fragon petit houx (3)
(*Ruscus aculeatus*)
Prunellier
(*Prunus spinosa*)
Cornouiller sanguin
(*Cornus sanguinea*)
Chèvrefeuille des bois
(*Lonicera xylosteum*)
Troène
(*Ligustrum vulgare*)

Tab. II : Groupes floristiques

(1) Acidiphiles stricts
(2) Très large amplitude
(3) Sciaphiles
(4) *S. nicaense* ou *S. anopetalum*
(5) *H. italicum* ou *H. polyfolium*
(6) *V. alba* ou *V. hirta*
(7) *R. tomentosus* ou *R. ulmifolius*



Photo 10 : Coronille à feuilles de jonc (groupe 3). Plante des groupes indiquant les mauvaises fertilités
Photo J. Laurent



Photo 12 : Troène commun (groupe 11). Plante des groupes indicateur de bonnes fertilités.
Photo C. Nouals



Photo 11 : Iris nain (groupe 4). Plante des groupes indiquant les mauvaises fertilités Photo C. Nouals



Photo 13 : Prunellier (groupe 11). Plante des groupes indicateur de bonnes fertilités. Photo G. Aillaud

II.4 - Comment évaluer la fertilité d'un terrain pour le pin *brutia* ou le pin *eldarica* ?

Pour cela l'utilisateur doit :

1 - savoir dans quelle zone climatique est situé son terrain (cf. carte p. 202-203),
2 - remplir la fiche de relevé proposée page 209
3 - suivre la clé d'évaluation de la fertilité (Cf. p. 208).

Mais avant, il lui est nécessaire de connaître les limites d'utilisation, et la fiabilité qu'il peut attendre de cet outil.

• *Limite d'utilisation*

L'étude a été réalisée à partir d'un échantillonnage imposé par la répartition géographique des boisements existants, donc :

*la fiabilité de la clé n'est connue que sur la zone climatique correspondant aux boisements à étudier.

*Dans cette zone, la clé ne fournit des indications précises que sur roche calcaire.

L'utilisation de la clé peut être faite en dehors de cette zone, mais uniquement à titre indicatif, car il n'est pas possible d'y estimer sa valeur prédictive.

Enfin, à l'intérieur de la zone d'étude, les boisements n'ont pas été réalisés sur tous les types de milieu. Il est donc possible que certains terrains soient difficiles à situer dans l'une ou l'autre des unités écologiques.

• *Fiabilité*

La clé a été testée sur des peuplements non compris dans l'échantillon initial. Les relevés ont été choisis pour être répartis sur l'ensemble des 14 unités écologiques.

Le test a consisté simplement à utiliser la clé pour obtenir une prédiction, et à comparer cette prédiction à la hauteur réelle atteinte par le peuplement. On a pu ainsi apprécier la fiabilité de la clé, et en supprimer les éléments les moins sûrs :

*1 seul relevé n'a pu être placé dans l'unité écologique lui correspondant.

*Mis à part ce cas, tous les relevés se placent dans la fourchette des classes de fertilité donnée dans la partie 2 de la clé.

*13 % des cas s'éloignent nettement de la classe de fertilité estimée par la 3ème partie de la clé.

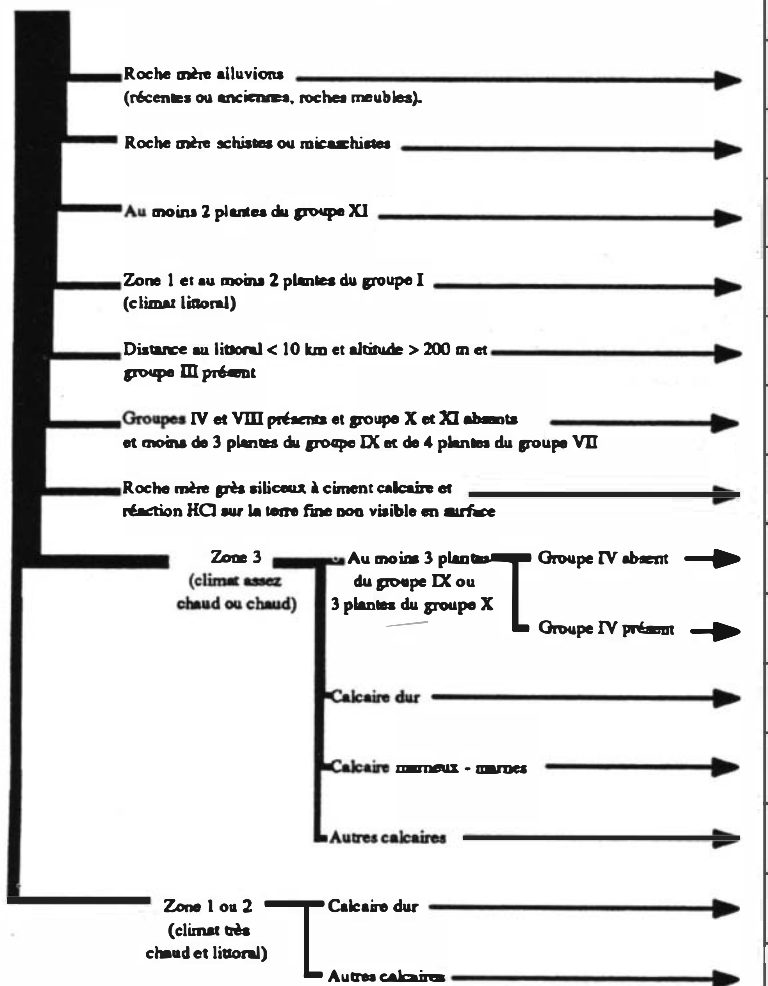
La plupart de ces cas se situent dans la partie basse de la clé, où restent les terrains dont la composition floristique ne renseigne pratiquement plus sur la fertilité et où l'on fait appel à des facteurs très grossiers pour définir les unités écologiques.

EVALUATION DES POTENTIALITES DES STATIONS POUR LES PINS BRUTIA ET ELDARICA

1

DETERMINATION DES UNITES ECOLOGIQUES

Clé de détermination à suivre obligatoirement du haut vers le bas



2

DESCRIPTION ET EVALUATION DE LA FERTILITE DES UNITES ECOLOGIQUES

Unité écologique	Description sommaire et caractérisations supplémentaires	Moyenne des hauteurs à 30 ans	Classes de fertilité
R1	Alluvions récentes ou anciennes souvent anciennement cultivées. Groupe XI fréquent.	13 m	I et II
FR1	Flore acidiphile et plutôt thermophile (Albères, basses Corbières et Piemonts de la Montagne noire).	9,5 m	II et III
F1	Sols profonds à faible charge en cailloux. Groupe X abondant.	13 m	I
FC1	Faible altitude (< 60 m) à moins de 10 km du littoral sur calcaires divers	9 m	II et III
FC2	Garrigues dégradées des chainons calcaires littoraux. Sols peu profonds et caillouteux.	6 m	III et IV
F2	Milieux très ouverts à végétation fortement dégradée sur roches calcaires diverses	6 m	III et IV
FR2	Plus de 200 m d'altitude, à moins de 20 km du littoral. Flore acidiphile (groupe II).	9 m	II et III
FC3	Positions topographiques basses ou planes, généralement anciennes cultures, à plus de 35 km du littoral.	10 m	II III
FC4	Altitude > 400 m ou plus de 30 km du littoral.	8,5 m	II et III
CR1	Garrigues dégradées sur plateaux ou versants	7,5 m	II III IV
CR2	Garrigues sur versants assez pentus à plus de 35 km du littoral (ex. : Nord Alpilles)	8 m	II et III IV
CR3	Calcaires en plaquettes ou conglomérats calcaires facilement altérables (ex. : F.D. Cadarache)	9,5 m	I, II et III
CR4	Garrigues dégradées sur versants ou plateaux.	6,5 m	(II) III et IV
CR5	Garrigues dégradées sur calcaire en plaquettes ou calcaire marneux	9 m	Toutes

Nota :
1) dans la dénomination de l'unité écologique, la lettre figure le ou les critères principaux de classement :
R = roche, substrat F = composition floristique C = climat
2) les classes de fertilité entre parenthèse sortent du cas général.

3

DETERMINATION DE LA FERTILITE DE LA STATION

Unité écologique	Facteurs stationnels spécifiques à certaines unités écologiques
R1, FR1	Les nuances climatiques plus fraiches ou plus humides ont tendance à améliorer sensiblement la fertilité
F1	
FC1	Chiffres valables uniquement pour Pin eldarica
FC2, F2	Plus de 10 % d'affleurement rocheux ou position topographique défavorable ==> classe IV
FR2	Les banquettes soussolées apportent ici un gain de croissance sensible
FC3	
FC4	
CR1, CR2, CR3	Fertilités plus difficile à évaluer en l'absence de critères floristiques
CR4, CR5	Meilleure croissance pour Pin eldarica

A L'INTERIEUR DE CHAQUE UNITE ECOLOGIQUE, ON PRECISERA LA CLASSE DE FERTILITE DE LA STATION EN FAISANT UN BILAN DES PRINCIPAUX FACTEURS FAVORABLES OU DEFAVORABLES

Facteurs stationnels déterminants pour toutes les unités écologiques

DEFAVORABLES	FAVORABLES
- Présence d'affleurement rocheux	
- Sommet, croupe, haut de versant	- Plaine, thalweg
	- Pente < 10 %
	- Ancienne terre de culture, restanque
- Test tarière<15 cm (*)	- Test tarière>30cm (*)
- Plus de 2 plantes des groupes floristiques III et IV	- Présence du groupe XI

(*) Rappel : test tarière = moyenne des profondeurs d'enfoncement d'une tarière à vis hélicoïdale (Ø 4 cm) en plusieurs points du terrain

MODE D'EMPLOI DE LA CLE

La clé comporte trois volets :

Dans la première partie, on déterminera dans quelle unité écologique le terrain étudié est situé.

On doit obligatoirement répondre à tous les embranchements proposés depuis le haut vers le bas jusqu'à ce que l'on rencontre l'unité correspondante. Si un terrain est placé dans l'unité écologique CR5, c'est qu'il n'a pu être situé dans aucune des unités précédentes.

Remarque : *On gagnera en précision à* ***soigner le relevé floristique****, afin d'avoir plus de chance de se situer dans la partie haute de la clé (de bonne précision et fiabilité jusqu'à l'unité FC4).*

Dans la deuxième partie, on vérifiera, dans la description sommaire et les caractérisations supplémentaires que le terrain correspond bien à cette unité écologique.

On y trouvera en outre la moyenne des hauteurs observées, et l'amplitude de part et d'autre de cette moyenne (traduite en classes de fertilité). Ces chiffres ont une valeur statistique.

Remarque : *On voit qu'à partir de l'unité CR1, les fourchettes des hauteurs à 30 ans s'étendent sur trois classes de fertilité. L'outil de prédiction y est donc moins bon.*

Enfin, dans la troisième partie, on fera un bilan des facteurs favorables ou défavorables.

Certains ne concernent qu'une ou deux unités (colonne de gauche), et d'autres sont communs à toutes les unités (colonne de droite). Cette appréciation qualitative (sans valeur statistique) permettra d'évaluer si les pins *brutia* ou *eldarica* seront au-dessus, au-dessous, ou proches de la moyenne des fertilités de l'unité écologique.

Remarque : *On n'hésitera pas à utiliser son bon sens et son expérience de forestier, par exemple pour faire intervenir d'autres critères que ceux de la liste fournie, s'ils semblent ponctuellement déterminants pour l'évaluation de la fertilité.*

Evaluation de la fertilité d'un terrain pour les Pins brutia et eldarica

FICHE DE RELEVE

I - Situation

- Commune .... Forêt de .... Lieu-dit ....

- Climat (voir carte) Zone 1 ☐ Zone 2 ☐ Zone 3 ☐ Autre ☐

- Distance au littoral (en ligne droite) : .... km

- Altitude : .... m

II - Description de la station

- Occupation actuelle ou récente du terrain :

Forêt ☐ Garrigue ou maquis ☐ Lande ☐ Terre de culture ☐

- Position topographique

Sommet ou croupe	☐	Bas de versant	☐	Plaine ou vallée	☐
Haut de versant	☐	Plateau ou replat	☐		
Mi-versant	☐	Thalweg ou vallon	☐		

- Exposition : .... Pente : ....

III - Roche et sol

- Nature de la roche : ....

- Affleurement de la roche : Présent ☐ Absent ☐

- Cas particulier : Restanques ☐ Alluvions ☐

Autre : ....

- Test tarière : 1 .... 2 .... 3 .... 4 .... 5 .... **Moyenne : .... cm**

(Moyenne des profondeurs d'enfoncement d'une tarière à vis hélicoïdale de diamètre 4 cm en plusieurs points du terrain).

IV - Composition floristique (utiliser la grille au verso)

1 - Lorsqu'une plante de la liste alphabétique figurant au verso est présente, cochez la case grisée.
2 - Faites le total par colonne pour obtenir le nombre de plantes par groupe floristique indicateur.
3 - Reportez le total de plantes par groupe ci-dessous.
(Nota : les groupes V et VI, très fréquents, n'ont pas été reportés ici, car ils ne sont pas utilisés dans la clef.)

Groupe I : .... plantes	Groupe II : .... plantes	Groupe III : .... plantes
Groupe IV : .... plantes	Groupe VII : .... plantes	Groupe VIII : .... plantes
Groupe IX : .... plantes	Groupe X : .... plantes	Groupe XI : .... plantes

ESPECES	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Ajonc épineux *Ulex parviflorus*											
Amélanchier *Amelanchier rotundifolia*											
Aphyllante de Montpellier *Aphyllantes monspeliensis*											
Arbousier *Arbutus unedo*											
Asperge sauvage *Asparagus acutifolius*											
Astragale de Montpellier *Astragalus monspessulanus*											
Aubépine monogyne *Crataegus monogyna*											
Bonjeanie hérissée *Bonjeania hirsuta*											
Brachypode de phénicie *Brachypodium phoenicoïdes*											
Brachypode rameux *Brachypodium ramosum*											
Bruyère multiflore *Erica multiflora*											
Bruyère arboréscente *Erica arborea*											
Buis *Buxus sempervirens*											
Buplèvre ligneux *Bupleurum fruticosum*											
Calycotome épineux *Calycotome spinosa*											
Carline en corymbe *Carlina corymbosa*											
Chardon bleu *Echinops ritro*											
Chêne kermes *Quercus coccifera*											
Chêne pubescent *Quercus pubescens*											
Chêne vert *Quercus ilex*											
Chèvrefeuille des Baléares *Lonicera implexa*											
Chèvrefeuille des bois *Lonicera xylosteum*											
Chèvrefeuille d'étrurie *Lonicera etrusca*											
Ciste blanc *Cistus albidus*											
Ciste à feuilles de sauge *Cistus salviaefolius*											
Ciste de Montpellier *Cistus monspeliensis*											
Clématite petite flamme *Clematis flamula*											
Coris de Montpellier *Coris monspeliensis*											
Cormier *Sorbus domestica*											
Cornouiller sanguin *Cornus sanguinea*											
Coronille arbisseau *Coronilla emerus*											
Coronille à feuilles de jonc *Coronilla juncea*											
Cytise argenté *Argyrolobium linnaenum*											
Cytise à fleurs séssiles *Cytisus sessiliflorus*											
Daphnée garou *Daphne gnydium*											
Dorycnium sous-arbrisseau *Dorycnium suffruticosum*											
Eglantier *Rosa sp*											
Erable de Montpellier *Acer monspessulanus*											
Euphorbe à fleurs pourpres *Euphorbia characias*											
Fenouil sauvage *Foeniculum vulgare*											
Filaria à feuilles étroites *Phillyrea angustifolia*											
Filaria à larges feuilles *Phillyrea latifolia*											
Fragon petit houx *Ruscus aculeatus*											
TOTAL Colonne 1	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Nb.											

ESPECES	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Fumana à feuilles de thym *Fumana thymifolia*											
Fumana de spach *Fumana coridifolia*											
Garance voyageuse *Rubia peregrina*											
Genet piquant *Genista hispanica*											
Genet poilu *Genista pilosa*											
Genet scorpion *Genista scorpius*											
Genévrier cade *Juniperus oxycedrus*											
Germandrée petit chêne *Teucrium chamaedrys*											
Germandrée tomenteuse *Teucrium polium*											
Globulaire arbustive *Globularia alypum*											
Hélianthème *Helianthemum sp*											
Herbe à bitume *Psoralea bituminosa*											
Immortelle *Helychrysum stoechas*											
Iris nain *Iris chameiris*											
Laser de France *Laserpitium gallicum*											
Lavande à larges feuilles *Lavandula latifolia*											
Lavande stoechade *Lavandula stoechas*											
Leuzée à cône *Leuzea conifera*											
Lierre grimpant *Hedera helix*											
Nerprun alaterne *Rhamnus alaternus*											
Olivier *Olea europaea*											
Ononis nain *Ononis minutissima*											
Panicaut champêtre *Eryngium campestre*											
Petite coronille *Coronilla minima*											
Pin d'alep *Pinus halepensis*											
Pistachier lentisque *Pistacia lentiscus*											
Pistachier Térébinthe *Pistacia terebinthus*											
Prunellier *Prunus spinosa*											
Romarin *Rosmarinus officinalis*											
Ronce *Rubus sp*											
Rue puante *Ruta graveolens*											
Salsepareille rude *Smilax aspera*											
Sanguisorbe *Sanguisorba minor*											
Santoline petit cyprès *Santolina chamaecyparissus*											
Sedum *Sedum sp*											
Spartier à tiges de jonc *Spartium junceum*											
Stéhéline douteuse *Staehelina dubia*											
Sumac des corroyeurs *Rhus coriaria*											
Thym *Thymus vulgaris*											
Troène *Ligustrum vulgare*											
Valériane rouge *Centranthus ruber*											
Violette *Viola sp*											
Viorne tin *Viburnum tinus*											
TOTAL Colonne 2	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Nb.											

TOTAL GENERAL	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Nb.											

Grille floristique

III - Variabilité génétique:

adaptation comparée de provenances de pins *brutia-eldarica* et de pin d'Alep aux contraintes du milieu méditerranéen français

Une expérience internationale de comparaison des provenances de *Pinus halepensis* et *Pinus brutia-eldarica* a été initiée en 1975 par la FAO (projet FAO/SCM/CRFM/4bis). Les objectifs et la méthodologie ont été présentés dans un protocole commun à tous les pays participants (Eccher 1975). Pour la France, des résultats provisoires ont été publiés sur la résistance au froid en 1985 (Allemand *et al*, 1985), puis en 1992, soit 12 ans après la première plantation, sur les dégâts de chenille processionnaire (*Thaumetopea pithyocampa*), la croissance en hauteur, la résistance au froid et à la sécheresse (Bariteau, 1992). Une synthèse de l'article de 1992 est présentée ci-après.

III.1. Sites expérimentaux et matériel végétal

Deux sites ont été retenus : Vitrolles et Ceyreste dans les Bouches du Rhône. Les tableaux II et III ainsi que la figure 2 présentent de façon synthétique les principales caractéristiques des dispositifs et des provenances testées.
Les sites utilisés sont très limitants sur le plan de la fertilité (sécheresse; sol superficiel). Ils sont peu représentatifs des zones potentielles de reboisement en France méditerranéenne. Le terrain de Vitrolles correspond cependant très bien aux conditions de sélection régnant actuellement dans l'aire de *Pinus halepensis* en France (zone mésoméditerranéenne sur calcaire).

III.2. Résultats

III.2.1. Résistance au froid

Elle a été notée à la suite d'une forte gelée en janvier 1985 puis calculée comme un taux de mortalité à terme par gel, sur une période de 3 ans suivant la gelée.
Les pins *brutia* et *eldarica* ont subi une mortalité toujours inférieure à 7% (2,7% en moyenne sur les deux dispositifs pour *Pinus brutia* et 4,05% pour *Pinus eldarica*). Le groupe des pins d'Alep apparait dans les deux sites, plus sensible au gel que celui des pins *brutia* (en moyenne 24,10%), sauf pour Gemenos, la seule provenance française testée, qui est totalement indemne. En tête du classement des pins d'Alep les plus résistants, se trouvent, outre Gemenos, deux provenances espagnoles, Cehegin et Serra (mortalités moyennes respectives : 6,6% et 15%) ainsi qu'une origine grecque, Chalkidike (mortalité moyenne 18,1%).
Parmi les provenances de *Pinus halepensis*, les populations d'Afrique du Nord et d'Italie sont particulièrement sensibles au froid (mortalités supérieures à 20%) ainsi que la provenance grecque Elea (85,4% de mortalité par gel à Vitrolles).

III.2.2. Résistance à la sécheresse

Des mortalités dues à la sécheresse ont été constatées et notées en 1990 sur l'essai de Vitrolles. Par rapport à la moyenne calculée sur 30 ans (soit 569 mm), le déficit pluviométrique à Marignane, station météorologique proche de

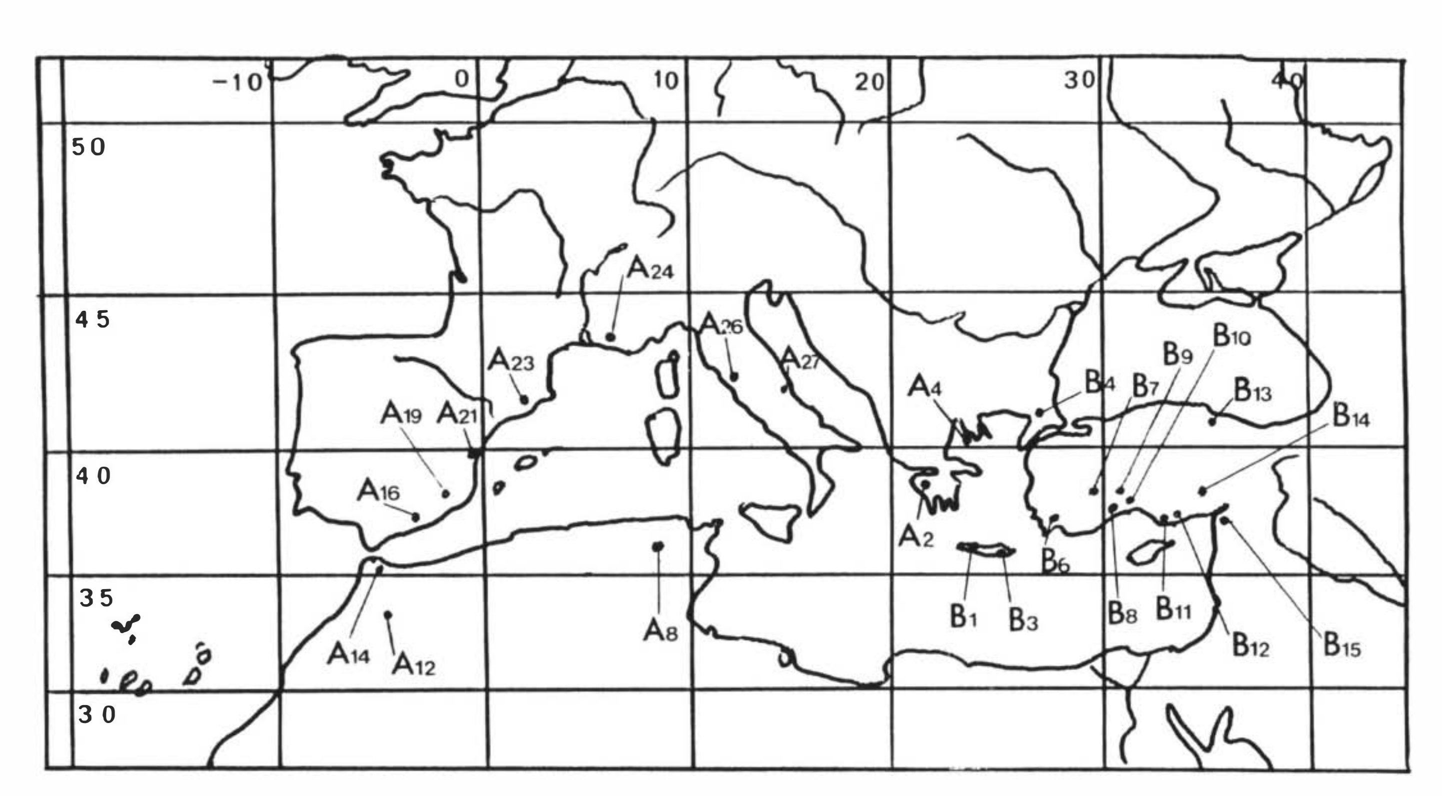


Fig. 2 : Localisation des provenances de *Pinus halepensis* et *Pinus brutia* utilisées dans les essais français.

Vitrolles, est de 156 mm en 1988, et 369 mm en 1989 (pluviométrie de l'année: 200 mm!).

Le classement des provenances en fonction de la mortalité par sécheresse ne sépare pas *Pinus halepensis* et *Pinus brutia* (en moyennes respectives 16,4% et 18%) : l'effet espèce n'est pas significatif au seuil de 5% (F=0,19). Les 10 meilleures provenances sont cependant représentées par 7 provenances de pin d'Alep.

Les provenances de *Pinus halepensis* Cehegin, Serra, Chalkidike et Gemenos, sont peu sensibles à la sécheresse (mortalités respectives par sécheresse : 7,11%, 8,24%, 9,72%, 10,52%). Elles sont également en tête de classement des pins d'Alep pour la résistance au gel.

Deux provenances de pin *brutia*, Kisildag (Turquie) et Alexandropolis (Grèce), cumulent la résistance au gel et à la sécheresse : mortalités respectives par sécheresse de 5,98% et 5,46%, ce qui représente les deux meilleures performances pour tous les pins testés.

III.2.3. Résistance à la chenille processionnaire

Elle a été notée en présence - absence pour chaque individu en mai 1984, à la suite d'une attaque importante sur le dispositif de Ceyreste. Le pourcentage d'attaques a été calculé pour chaque provenance. Le pourcentage le plus faible est obtenu pour un pin *brutia* de Crète (Chania : 67,39%), le plus fort pour un autre P. *brutia* grec et une provenance de P. *eldarica* (respectivement, Alexandropolis et Iran 2 : 100% d'attaques). *Pinus brutia-eldarica* est plus sensible que *Pinus halepensis* : 93,25% d'attaques en moyenne contre 85,89%. Les taux sont cependant élevés pour toutes les provenances.

Deux paramètres expliquent bien les attaques:

- la position au sein de l'essai (certaines zones ont été plus particulièrement touchées);
- la hauteur des arbres au moment de l'attaque.

L'origine de la sensibilité à la processionnaire ne semble pas être d'origine génétique mais il faudrait pouvoir en juger sur un dispositif approprié.

Caractéristiques du dispositif de :	**Vitrolles**	**Ceyreste**
Conditions écologiques		
Altitude	200m	470m
Longitude/latitude	3,26gr E/48,32gr N	3,71gr E/48,4gr N
Exposition/pente	Plateau/pente nulle	Sud/10%
Pluviométrie (1951 - 1980)	569 mm (Marignane)	786 mm (Cuges)
Sol	Calcaire	Grès du Baguier
Végétation	Forêt de *Pinus halepensis* brûlée en 1972	Chênes verts et kermes - arbousier
Surface	1,93 ha	1,13 ha
Travail du sol	Trait de ripper tous les 5 mètres	Sous-solage croisé en plein
Plantation		
Date	Mars 1978	Janvier 1976
Espacement	5 m x 1,5 m	2,5 m x 1,33 m
Age des plants	1-0 fertil pot	1-0 fertil pot
Méthode	Au potet	Au potet

Tab. II : Principales caractéristiques des dispositifs français

Code	Provenance	Pays	Longitude	Latitude Nord	Altitude (m)	Site
A2	Elea	GRECE	21°32'E	37°46'	200	V/C
A4	Chalkidike	GRECE	23°21'E	40°11'	125	V/C
A8	Sakiet Sidi Youssef	TUNISIE	8°25'E	36°15'	700	V/C
A12	Zaouia Ifrane	MAROC	5°23'E	33°15'	1250	V/C
A14	Ouardane Bouksane	MAROC	5°08'W	35°03'	900	V/C
A16	Soportujar	ESPAGNE	3°15'W	37°10'	800	V/C
A19	Cehegin	ESPAGNE	1°55'W	38°05'	850	V/C
A21	Serra	ESPAGNE	0°28'W	39°50'	600	V/C
A23	Tarrasa	ESPAGNE	2°06'E	41°28'	250	V/C
A24	Gemenos	FRANCE	5°40'E	43°25'	150	V/C
A26	Otricoli	ITALIE	12°38'E	42°24'	400	V/C
A27	Vico del Gargano	ITALIE	16°00'E	41°54'	225	V/C
B1	Chania	GRECE	23°57'E	35°17'	850	V/C
B3	Lassithiou	GRECE	25°32'E	35°06'	1100	V/C
B4	Alexandropolis	GRECE	26°13'E	41°08'	200	V/C
B6	Marmaris	TURQUIE	28°18'E	37°00'	175	V/C
B7	Isparta	TURQUIE	29°32'E	38°04'	1043	V/C
B8	Dûzlerçani	TURQUIE	30°25'E	37°03'	250	V/C
B9	Pamuçak	TURQUIE	30°41'E	37°40'	780	V/C
B10	Bozburun	TURQUIE	30°45'E	37°21'	520	V/C
B11	Bakara	TURQUIE	32°43'E	36°09'	300	V/C
B12	Silifke	TURQUIE	33°43'E	36°13'	100	V/C
B13	çamgôlu	TURQUIE	35°20'E	41°50'	70	V/C
B14	Baspinar	TURQUIE	35°15'E	37°48'	700	C
B15	Kisildag	TURQUIE	35°58'E	36°21'	370	V/C
E1	Iran I	IRAN	———	———	—	C
E2	Iran II	IRAN	———	———	—	C
E3	Iran III	IRAN	———	———	—	C

Code : indicatif international (A=*Pinus halepensis*; B=*Pinus brutia*; E=*Pinus eldarica*).
Site : utilisation dans les dispositifs français (V = Vitrolles; C = Ceyreste).

Tab. III : Liste des provenances utilisées



Photo 14 : Chenilles processionnaires Photo C. Nouals

III.2.4. Croissance en hauteur

La moyenne globale est de 154,36 cm à Vitrolles, 11 ans après la plantation, et 143,97 cm à Ceyreste, 13 ans après la plantation. La meilleure provenance à Vitrolles (Cehegin) réalise un gain en hauteur de 20,7% par rapport à la moyenne. Ce gain est de 20,8% à Ceyreste pour la provenance de pin *brutia*, Marmaris.
Les pins d'Alep dominent les pins *brutia* à Vitrolles. Le phénomène inverse se produit à Ceyreste.

III.3. Discussion

Le tableau IV fait la synthèse des résultats obtenus. Les provenances sont classées par ordre de rang moyen croissant (rang du classement sur les hauteurs en 1988). Les provenances de *Pinus eldarica* n'ont été plantées qu'à Ceyreste où les performances sont moyennes à bonnes. Cette espèce, testée en arboretums d'élimination ne donne de bons résultats que sur calcaire (Allemand, 1989). D'après des observations faites en plantation, elle semble par contre très sensible à de nombreux déprédateurs.
Des recommandations en matière de choix de provenances en France peuvent être déduites des essais de Vitrolles et

Code	Provenance	Rang à Vitrolles	Rang à Ceyreste	Rang moyen gel	Résistance au Résistance	Résistance à la sécheresse	Forme
B4	Alexandropolis	4	5	4.5	+	+	?
A4	Chalkidike	5	8	6.5	=	+	?
B12	Silifke	7	7	7.0	+	=	Acceptable
A19	Cehegin	1	16	8.5	+	+	?
B6	Marmaris	18	1	9.5	+	=	Bon
B15	Kisildag	19	2	10.5	+	+	Très bon
A21	Serra	2	19	10.5	=	+	?
A23	Tarrasa	3	21	12.0	-	=	?
B7	Isparta	14	11	12.5	+	=	Acceptable
B13	çamgölu	12	14	13.0	+	-	Acceptable
B9	Pamuçak	15	12	13.5	+	-	Très bon
B11	Bakara	22	6	14.0	+	-	Exceptionnelle
A12	Zaouia Ifrane	9	20	14.5	-	-	?
B10	Bozburun	20	10	15.0	+	=	Bon
A24	Gemenos	6	24	15.0	+	=	?
A16	Soportujar	10	22	16.0	=	=	?
B1	Chania	16	17	16.5	+	-	?
A27	Vico del Gargano	8	26	17.0	-	-	?
B3	Lassithiou	24	13	18.5	+	=	?
A8	Sakiet Sidi Youssef	11	28	19.5	-	=	?
A14	Ouardane Bouksane	13	27	20.0	-	=	?
B8	Düzlerçani	23	18	20.5	+	=	Acceptable
A26	Otricoli	17	25	21.0	-	=	?
A2	Elea	21	23	22.0	-	-	?

Provenances absentes à Vitrolles :

B14	Baspinar	absente	4	?	+	?	Très bon
E1	IranI	absente	15	?	+	?	?
E2	IranII	absente	3	?	+	?	?
E3	IranIII	absente	9	?	+	?	?

Tab. IV: Classement des provenances d'après le rang moyen sur les hauteurs en 1988

Code : indicatif international (A=*Pinus halepensis*; B=*Pinus brutia*; E=*Pinus eldarica*).
Rang à Vitrolles : Rang obtenu sur le classement en hauteur 1988 à Vitrolles.
Rang à Ceyreste : Rang obtenu sur le classement en hauteur 1988 à Ceyreste.
Rang moyen: Moyenne des rangs à Vitrolles et à Ceyreste
Résistance au gel : mortalité moyenne causée par le gel de 1985
- \+ inférieure ou égale à 10%,
- = supérieure à 10% et inférieure ou égale à 20%,
- \- supérieure à 20%.

Résistance à la sécheresse : mortalité par sécheresse à Vitrolles en 1989 (mêmes notations que pour la résistance au gel).
Forme : Notation effectuée dans l'aire naturelle (Arbez, 1974).

? = donnée manquante

Ceyreste. La discussion doit tenir compte de trois constatations préalables :

* Les sites utilisés sont très limitants sur le plan de la fertilité.
* Les études récentes du CEMAGREF sur les boisements français de *Pin brutia* montrent que cette espèce devrait être utilisée dans une zone écologiquement différente de l'aire actuelle du pin d'Alep (voir chapitre II "Autécologie").
* Etant donnés les tempéraments très différents des espèces de pins de la section *halepensis* et les facilités d'hybridation naturelle, il serait bon de prendre des mesures d'inventaire et de conservation des plus beaux peuplements français de pins d'Alep, en particulier pour éviter la pollution génétique. Le pin *brutia* ne devrait pas être introduit à leur proximité.



Photo 15 : Pin d'Alep à Gemenos Photo J. Laurent

Finalement l'essai de Vitrolles, qui est représentatif des conditions de sélection régnant dans l'aire actuelle de *Pinus halepensis* en France (zone méso-méditerranéenne inférieure sur calcaire), permet d'apporter quelques conclusions sûres pour cette espèce. Les provenances les mieux adaptées et dont la croissance est la moins faible sont représentées par deux populations espagnoles (Cehegin, Serra), une population grecque (Chalkidike) et la provenance locale Gemenos. En France, la législation actuelle prévoit pour le pin d'Alep l'utilisation obligatoire des provenances françaises. Des dérogations pourraient donc être accordées, les années où les peuplements autochtones ont une production insuffisante, pour les peuplements grecs et espagnols qui ont démontré leur adaptation à Vitrolles.

En matière de pin *brutia*, les essais menés en France ne permettent pas d'extrapoler l'intégralité des résultats à des sites plus favorables de type "supra-méditerranéen". Les conclusions apportées en matière de résistance au stress hydrique et au froid ainsi que les connaissances générales existantes sur l'espèce sont cependant suffisantes pour dégager quelques recommandations (en particulier, la variabilité des formes dans l'aire naturelle qui serait sous contrôle génétique; Arbez 1974). Dans les zones où existe un risque de sécheresse prolongée, trois provenances peuvent être conseillées : Silifke, Marmaris et Kizildag. Ces provenances correspondent à des stations de faible altitude (100m à 370m). Les formes sont au moins acceptables et au mieux très bonnes (tableau IV). Dans les sites sans risques majeurs de sécheresse, un second volet de provenances est à recommander : Pamuçak, Bakara, et Baspinar. Elles correspondent à des origines d'altitudes faibles à moyennes (300m à 780m), les formes étant "très bonnes" à "exceptionnelles".

Enfin, la provenance Alexandropolis mérite d'être mieux étudiée en raison de sa bonne résistance au gel et à la sécheresse et des croissances observées sur les deux sites expérimentaux.

IV - Orientations pour l'utilisation des pins brutia et eldarica en France

IV.1. Le pin *brutia*

a) Dans la zone actuelle d'introduction

· Dans les zones climatiques 1 et 2

Vu l'impact de la sécheresse sur les plantations de pin *brutia,* il nous semble raisonnable de proscrire cette essence en reboisement.

Les résultats de l'étude autécologique, ainsi que ceux des essais comparatifs de provenances, démontrent la meilleure adaptation des provenances locales de pin d'Alep.

· Dans la zone climatique 3

Les croissances des plantations existantes et leur réaction à la sécheresse permettent **de choisir le pin *brutia*** comme essence de reboisement **dans les terrains où on peut espérer obtenir une 1ère ou 2ème classe de fertilité**. L'utilisation de la clé présentée plus haut permet cette prédiction. Dans ces terrains, les croissances sont en général supérieures à celles du pin d'Alep, les arbres, plus droits, sont plus aptes à une utilisation industrielle, et le couvert plus sombre donne des peuplements moins combustibles (sous réserve d'une sylviculture adaptée). Il est de toute façon préférable d'essayer d'obtenir des provenances turques de basses altitudes, et en particulier celles qui ont donné de bons résultats dans les essais comparatifs (Silifke, Marmaris, ou Kizildag).

b) En dehors de la zone actuelle d'introduction (étages mésoméditerranéen supérieur et supraméditerranéen inférieur)

Il est quasi certain que le pin *brutia* serait mieux à même de

donner des peuplements de qualité dans les zones à climat méditerranéen atténué, et bien au delà de l'aire naturelle du pin d'Alep, puisque sa résistance au froid est meilleure.
Le comportement de cette essence dans son aire d'origine permet de supposer que le pin *brutia* pourrait être introduit avec succès dans les stations où le Cèdre n'est pas à sa place sur le plan édaphique (marnes et calcaires marneux notamment) et où le pin noir voit sa croissance limitée par les conditions climatiques (étage supraméditerranéen inférieur). En l'absence de risque de sécheresse prolongée, les provenances turques de moyenne altitude donneraient les meilleurs résultats, tant sur le plan de l'adaptation au milieu, que de la productivité (en particulier, Pamuçak, Bakara, Baspinar). Des essais de "confirmation" ont été programmés par l'Office national des forêts pour valider les performances de ces provenances dans l'étage supra-méditerranéen.
Les remarquables performances du pin *brutia* sur substrat acide tendre dans son aire d'origine méritent qu'on étudie son introduction dans les massifs cristallins, notamment là où la liste des essences possibles est limitée par les conditions climatiques (Maures, premières pentes des Pyrénées et du Massif central).



Photo 16 : Boisement en difficultés de *Pinus brutia* dans la zone climatique 2 à Martigues Photo D. Nouals

IV.2. Le pin *eldarica*

Dans les zones climatiques 1 et 2, où il a jusqu'à présent été cantonné, le pin de l'Eldar a manifesté des croissances correctes, et a fort bien résisté aux évènements climatiques exceptionnels de ces dernières années.
L'utilisation de cette espèce dans cette zone constitue donc dans l'absolu un bon choix (malgré sa sensibilité à certains ravageurs).
Toutefois, il faut considérer que les races locales de pin d'Alep se sont elles aussi bien comportées vis à vis de ces éléments climatiques et que, mis à part le critère de rectitude du fût, les avantages supposés du pin *eldarica* par rapport au pin d'Alep (croissance et couvert notamment) ne sont pour l'instant pas très évidents.
Il nous parait nécessaire, pour cette espèce dont l'introduction est somme toute récente d'attendre encore quelques années pour juger du résultat des plantations les plus anciennes, et les comparer à celles de pin d'Alep. A ce titre, les reboisements du littoral languedocien, où les deux espèces ont souvent été plantées côte à côte, dans les mêmes conditions, devraient bientôt pouvoir fournir une bonne base de comparaison.
Dans la zone climatique 3, et au dessus, nous ne disposons d'aucune information quant à la bonne adaptation et à l'intérêt des provenances de pin *eldarica*.
Quelle que soit la zone climatique, des essais comparatifs de provenances sont nécessaires pour compléter les résultats actuels, la faible taille de l'aire naturelle ne correspondant pas forcément à une faible variabilité génétique.



Photo 17 : Boisement de Pin brutia en zone climatique 3 à Montaren (30) Photo D. Nouals

IV.3. Conclusion

Les résultats de ces études autécologiques et génétiques ont montré que les pins *brutia-eldarica*, trop souvent assimilés au pin d'Alep, n'ont pas été jusqu'à présent introduits en région méditerranéenne française dans des conditions optimales d'utilisation.
Cet article apporte les éléments nécessaires :
- à une meilleure prise en compte des conditions de milieu,
- au choix d'un matériel végétal adapté.

D.N., M.B.

Ces études ont pu être réalisées grâce au financement des Programmes Intégrés Méditerranéens (Région Provence Alpes Côte d'Azur et Communauté Economique Européenne) et du Conservatoire de la Forêt Méditerranéenne.



Photo 18 : Pin d'Alep, à gauche, mieux développés que pins de l'Eldar à droite, à Martigues (13) Photo D. Nouals

Bibliographie

ABBAS H. (1984) - Les forêts de Pin d'Alep dans le Sud-Est méditerranéen français. Recherches écologiques, production sylvicole et aménagement - Faculté des Sciences St Jérôme, 173 p.

ALLEMAND P (1989) Espèces exotiques utilisables pour la reconstitution du couvert végétal en région méditerranéenne. Bilan des arboretums forestiers d'élimination. INRA, Paris

ALLEMAND P, AUGE P, BIROT Y, FERRANDES P, (1985) Premiers enseignements des effets du froid de janvier 1985 sur les espèces forestières étudiées en arboretums et en plantations comparatives de provenances en région méditerranéenne française. Forêt Méditerranéenne VII, 1, 85-90

ARBEZ M (1974) Repartition, écologie et variabilité de *Pinus brutia* en Turquie. *Information sur les Ressources Génétiques Forestières* n°3, FAO, 24-37

BARBERO P, QUEZEL P (1990) La déprise rurale et ses effets sur les superficies forestières dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur). *Bull. Soc.linn. Provence*, t.41, 77-88.

BARITEAU M (1992) Variabilité géographique et adaptation aux contraintes du milieu méditerranéen des pins de la section *halepensis* : résultats (provisoires) d'un essai en plantations comparatives en France. *Ann. Sci. For.* 49, 261-276

COMMERCON R. (1984) - Comportement du Pin laricio en région méditerranéenne - ENITEF-CEMAGREF Aix-en-Pce - 85 p.

DEBAZAC E F 1964 Manuel des Conifères. ENGREF, Nancy

ECCHER A (1975) Proposition de méthodes standard pour l'étude comparée de provenances des pins méditerranéens de la section halepensis. Protocole FAO/SCM/CRFM/4bis, 14p.

LABADIE J. (198?) - Etude des exigences écologiques du Pin pignon en région méditerranéenne française - ENITEF-CEMAGREF Aix-en-Pce - 81 p.

NAHAL I, (1983-1984) Le Pin *brutia*, 1ère et 2ème partie - *Forêt Méditerranéenne*, t.V, n° 2, 1983 - t. VI, n° 1,

NOUALS D, BOISSEAU B (1991) *Le pin brutia en France continentale*. CEMAGREF, Aix en Provence, 86 p.

OTTORINI J.M., TOTH J., TURREL M. (1983) - Tables de production pour le Pin noir d'Autriche dans le Sud-Est de la France - INRA Avignon.

ÖZDEMIR T., ELER Ü., SIRLAK U. (1985) Effects of release cutting for natural *Pinus brutia* stands in Antalya forest region - Forest research Institute ANKARA, 31 p.

QUEZEL P., (1980) Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. *Actualités d'écologie forestière*. Ed. Gauthier Villard, Paris, 205-255

QUEZEL P., (1985) Les pins du groupe halepensis - Ecologie, végétation, écophysiologie - Séminaire sur le Pin d'Alep et le pin *brutia* dans la sylviculture méditerranéenne - Tunis, 1985.

Résumé

Des résultats synthétiques de deux recherches simultanées, l'une sur l'autécologie, et l'autre sur la génétique des pins brutia et eldarica sont exposés. Ils proviennent, d'une part des boisements réalisés depuis les années 1950-1960 jusqu'à 1980 en France, d'autre part de deux plantations comparatives de provenances de pins de la section halepensis, situées dans le sud de la France (Vitrolles et Ceyreste), analysées 11 et 13 ans après leur mise en place.

Pinus eldarica *a été utilisé en France dans les conditions les plus extrêmes du climat méditerranéen. Il s'y est bien comporté, sans toutefois manifester jusqu'à présent une nette supériorité tant en croissance qu'en qualité de peuplement par rapport au Pin d'Alep.*

Pinus brutia, *dont l'extension a été un peu plus large, n'a toutefois pratiquement pas été installé dans les conditions correspondant à l'optimum de son aire naturelle, situé en climat méditerranéen atténué.*

Peu sensible aux grands froids, il a par contre manifesté une moindre résistance que Pinus halepensis *à la sécheresse, mais, dans les bonnes stations, a montré une croissance plus rapide et formé des peuplements de qualité à couvert bien fermé.*

A la suite de l'étude écologique et statistique des boisements français, on peut, dans la zone d'introduction actuelle de ces pins, prédire la hauteur dominante d'un peuplement en fonction de critères simples faisant intervenir la flore, le sol et le climat à l'aide d'une clé d'évaluation de la fertilité.

Les sélections opérées dans les plantations comparatives par le gel et la sécheresse, ainsi que les connaissances déjà acquises dans l'aire naturelle, permettent de proposer un choix de provenances pour la zone supra-méditerranéenne française (étage du chêne pubescent), en fonction des risques potentiels de sécheresse.

Sous réserve d'éviter la plantation à proximité des beaux peuplements de Pinus halepensis, *on réservera à* Pinus brutia, *dans la zone d'introduction actuelle, les seules stations où l'on peut espérer obtenir une première ou deuxième classe de fertilité.*

Pinus brutia *donnerait des résultats encore supérieurs dans les zones françaises correspondant à celles de l'aire naturelle à fortes productions (climat méditerranéen atténué, notamment sur roches marneuses, ainsi que les substrats acides).*

Dans chacune de ces deux situations, un choix de provenances est proposé, qui est en cours de validation par l'Office national des forêts.

Summary

The article presents a synthesis of the results from two research projects conducted simultaneously, the first on the autecology and the second on genetic aspects of the Pinus brutia *and* Pinus eldarica. *The first set of results concerns plantations made in France from 1950-60 until 1980. The second set comes from two plantations in the south of France (Vitrolles and Ceyreste) made to compare strains of halepensis of different provenances and analysed 11 and 13 years after their establishment.*

Pinus eldarica *has been used in France in the more extreme Mediterranean conditions. The species has done well, though up to the present time it has not shown any clear superiority over the Aleppo pine as regards either growth rate or the overall quality of the stands.*

Pinus brutia, *while covering a slightly wider area, has nevertheless hardly ever been planted in conditions akin to its ideal natural habitat which occurs in milder Mediterranean conditions. Though not cold sensitive, it shows less resistance to drought than* Pinus halepensis *but on good sites has grown faster, at the same time forming quality stands with good canopy cover.*

As a result of the ecological and statistical study of replanted areas in France, it is now possible to predict, for the zones where these species have been introduced, the dominant height of a plantation. The method involves simple criteria related to the flora, soil and climate, interpreted according to a fertility evaluation table.

The natural elimination due to freezing and drought in the stands planted for the purposes of comparison, along with data from the species' regions of origin, justifies the recommendation of certain provenances for use in the higher Mediterranean regions of France (the pubescent oak zone) in the light of potential dought risk.

Pinus brutia, *provided that it is not planted in the vicinity of good stands, of* Pinus halepensis, *should be reserved to sites within the present zone of introduction which offer adequate fertility-class 1 or 2.*

Pinus brutia *would give even better results in zones in France which correspond to the highly productive areas in its native region (under a moderate Mediterranean climate) particularly on rocky marls and on acid subsoils.*

For each of these two situations, there are recommended provenances whose certification by the French forestry commission (O.N.F) is now pending.

Riassunto

Risultati sintetici di due ricerche simultanee, l'una sull'autoecologia e l'autra su la genetica dei pini brutia e eldarica sono esposti. Provengono d'una parte degli imboschimenti realizzati dagli anni 1950-1960 fino al 1980 in Francia. D'altraparte di due piantagioni comparative di provenienza di pini della sezione halepensis, situate nel sud della Francia (Vitrolles, Ceyreste), analizzate 11 e 13 anni dopo la loro sistemazione.

Pinus eldarica *è stato utilizzato in Francia nelle condizioni più estreme del clima mediterraneo. Si è comportato bene, tutavia senza manifestare fino a oggi una superiorità chiara tanto per la crescita come per la qualità del popolamento rispetto al pino d'Aleppo.*

Pinus brutia, *di cui l'estensione è stata un poco più larga, non è stato praticamente installato tuttavia nelle condizioni che corrispondono all'optimum della sua area naturale, situato in clima mediterraneo attenuato.*

Poco sensibile ai grandi freddi, ha al contrario manifestato una resistenza minore dal Pinus halepensis *alla siccità, ma, nelle buone stazioni ha mostrato una crescita più rapida e formato popolamenti di qualità dal coperto bene chiuso.*

In seguito dello studio ecologico e statistico degli imboschimenti francesi, si può, nella zona di introduzione attuale di questi pini, predire l'altezza dominante di un popolamento in funzione di criteri semplici che fanno intervenire la flora, il suolo e il clima coll'aiuto di una chiave di valutazione della fertilità.

Le selezioni compiute nelle piantagioni comparative per il gelo e la siccità, come pure le conoscenze già acquisite nell'area naturale, permettono di proporre una scelta di provenienze per la zona sopra-mediterranea francese (stadio della roverrella), in funzione dei rischi potenziali di siccità.

Con riserva di evitare la piantagione a prossimità di popolamenti belli di Pinus halepensis, *si riserverà a* Pinus brutia, *nella zona di introduzione attuale, le uniche stazione dove si può sperare ottenere una prima o seconda classe di fertilità.*

Pinus brutia *darebbe risultati ancora superiori nelle zone francesi che corrispondono a quelle dell'area naturale da forti produzioni (clima mediterraneo attenuato, particolarmente su rocce marnose, come pure i sostrati acidi).*

In ognuna di queste due stazioni, una scelta di provenienze è proposta, la quale è in corso di convalidazione dall'Office National des Forêts (Ente Nazionale delle Foreste).